

Aus der Abteilung für zahnärztliche
Werkstoffkunde und Technologie
(Vorsteher: Prof. Dr. H. Marx)
der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Experimentelle Untersuchung über den
Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und
Kugeldruckhärte bei verschiedenen Dentalgipsen**

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von
Jürgen Billeb
aus Münchenbernsdorf
(Kreis Gera)

Mainz 1973

1974

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554426_0071

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie (Vorsteher: Prof. Dr. H. Marx) der Klinik
und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG ÜBER DEN ZU-
SAMMENHANG ZWISCHEN DRUCKFESTIGKEIT UND
KUGELDRUCKHÄRTE BEI VERSCHIEDENEN DENTAL-
GIPSEN

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der
Zahnheilkunde der Johannes Gutenberg-Uni-
versität Mainz, den Medizinischen Fachbe-
reichen vorgelegt

von

Jürgen Billeb
aus Münchenbernsdorf
(Kreis Gera)

Mainz 1973

Fachbereichsdekan:

Prof. Dr. Dr. Ketterl

Referent:

Prof. Dr. Marx

Korreferent:

Prof. Dr. Fuhr



Tag der mündlichen Prüfung:

10. 4. 1974

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
Prüfverfahren	
1. Härte	1
2. Druckfestigkeit	5
II. ÜBERBLICK ÜBER DIE LITERATUR	7
III. VERSUCHSMATERIALIEN	9
1. NPU	9
2. Moldabaster	9
3. Record	9
4. Duroc	10
5. Velmixstone	10
6. Moldano	10
7. Begodur	11
IV. VERSUCHSBEDINGUNGEN	12
1. Temperatur und Luftfeuchtigkeit	12
2. Apparatur	13
a) Kugeldruckhärte	13
b) Druckfestigkeit	14
3. Anmischvorgang	16
4. Zeitpunkt der Prüfung	20
5. Probekörpermaße	20
6. Anzahl der Probekörper	21
7. Lagerung der Probekörper	22
V. VERSUCHSERGEBNISSE MIT TABELLEN	24
1. Ergebnisse der Druckfestigkeitsbestimmung	25
2. Ergebnisse der Kugeldruckhärteprüfung	29
VI. STATISTISCHE AUSWERTUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE	36
1. Ergebnisse	39
a) Kugeldruckhärte	39
b) Druckfestigkeit	40
c) Zusammenhang Kugeldruckhärte : Druckfestigkeit	41
2. Folgerungen für die Versuchsbedingungen	42
VII. ZUSAMMENFASSUNG	56
VIII. LITERATURVERZEICHNIS	57

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Unter den zahnärztlichen Werkstoffen gibt es auf dem Sektor Gips eine Fülle von verschiedenen Angeboten sowohl bei den Modellgipsen als auch bei den Hart- und Spezialhartgipsen. Um sie in ihrer Qualität beurteilen zu können, müssen vor allem Angaben über ihre Härte und Druckfestigkeit bekannt sein. Da diese in den seltensten Fällen vom Hersteller vorgelegt werden, ist zur Auswahl eines geeigneten Gipses ihre Bestimmung erforderlich.

Das Anliegen der Arbeit besteht darin festzustellen, ob ein Zusammenhang zwischen den Kugeldruckhärtewerten und den Druckfestigkeitswerten der einzelnen Gipse vorhanden ist. So könnte ein fester Zusammenhang zwischen den beiden Werten in Zukunft die Messung nur einer Eigenschaft, sei es nur die Kugeldruckhärte oder die Druckfestigkeit, als ausreichend erscheinen lassen. Darüber hinaus sollte versucht werden, eventuell Empfehlungen für einheitliche werkstoffkundliche Prüfungsmethoden für Härte- und Druckfestigkeitsmessungen von Gipsen zu geben, um sich ggfs. auf ein Prüfverfahren beschränken zu können.

Prüfverfahren

1. Härte

Da für den Begriff Härte keine physikalisch und technisch eindeutige Definition besteht (DIN 1168, Blatt 2, DIN 50351, DIN 53456), gibt es zur Bestimmung der 'Härte' verschiedene Prüfmethoden.

Das Eindringverfahren ist die häufigste Prüfmethode. Es unterteilt sich in statische und dynamische Verfahren. Zu den statischen Methoden gehören die Brinell-, Vickers- und Rockwellhärtebestimmung, und zu den dynamischen Verfahren zählt die Härtemessung mit dem Poldihammer sowie die Shorehärtebestimmung.

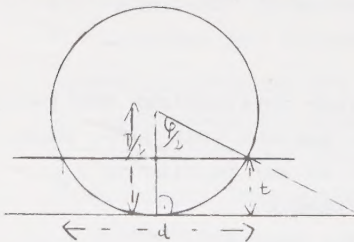
Neben dem Eindringverfahren gibt es noch das Ritzverfahren, das bei der Moh'schen Härteskala sowie bei der Prüfmethode nach Martens angewendet wird.

Jedes dieser Verfahren drückt durch verschiedenes technisches und physikalisches Vorgehen eine ihm analoge spezifische Kenngröße eines Werkstoffes aus. Daher sind in bezug auf Wertigkeit der Zahlen und physikalische Eigenschaften nur bedingt vergleichbare Ergebnisse durch verschiedene Prüfverfahren zu erzielen.

Das Eindringverfahren nach Brinell wird bevorzugt bei der Gipsprüfung verwendet, da die kugelförmige Gestalt des eindringenden Körpers eine günstige Einsinkgeschwindigkeit von der Oberfläche bis in die tieferen Schichten des Werkstoffes gewährleistet.

Bei der bei diesen Untersuchungen angewandten Härteprüfung nach Brinell wird mit einer Stahlkugel ($D = 5 \text{ mm}$) gegen eine plane Fläche des Prüfkörpers Druck ausgeübt. Danach wird der Durchmesser des Kugeleindrucks oder die Eindringtiefe gemessen.

Das Verhältnis der Belastung P zur Oberfläche des durch D (Durchmesser der Kugel) und d (Durchmesser des entstandenen Eindrucks) bestimmten Kugelsegmentes ist die Brinellhärte H (5, 7).



D = Kugeldurchmesser
 d = Durchmesser des Eindrucks
 t = Eindringtiefe

$$H = \frac{2 P}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2 P}{\pi D^2 (1 - \cos \frac{\varphi}{2})}$$

$$H = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot t} \quad \cdot \text{ Kp/cm}^2$$

Um möglichst vergleichbare Ergebnisse zu bekommen, muß der Kugeleindruckdurchmesser $d = 0,2 D$ bis $0,5 D$ betragen (7).

Da Gips keine prüftechnisch nennenswerte Rückverformung besitzt, kann diese vernachlässigt werden. Somit wird die Eindringtiefe im Gegensatz zu den Metallhärtemessungen nicht unter Hauptlast, sondern unter Vorlast gemessen. Die die Prüfgenauigkeit beeinträchtigende Aufbiegeeigenschaft der Prüfapparatur, die bei 50 Kp Hauptlast 0,04 mm und bei 100 Kp 0,06 mm beträgt, kann wegen der Ablesung unter Vorlast ebenfalls unberücksichtigt bleiben (3).

Zur Kugeldruckhärteprüfung empfiehlt die Firma Zwick (3) zusätzlich zu den 20 Kp Hauptlast der DIN 1168, die nur für Baugipse wie Putz- und Stuckgips gilt, noch Hauptlasten von 100 und 50 Kp je nach Materialkonsistenz. Die weiteren Empfehlungen decken sich mit DIN 1168. Der Kugeldurchmesser soll 10 mm, die Vorlast 1 Kp und die Belastungszeit 15 sec betragen (5).

Die AMERICAN DENTAL ASSOCIATION (ADA) (1) schreibt in ihrem Vorschlag einer Spezifikation für Materialien aus Gips vom 2. 6. 1969 keine Kugeldruckhärteprüfungen vor. Es werden neben der Druckfestigkeit die Feinheit des Gipses, die Abbindeexpansion nach zwei Stunden, die Abbindezeit und die Testkonsistenz gemessen. Bei der Bestimmung der Testkonsistenz des Abdruckgipses wird die Diskusmethode (Slump methode) angewendet. Man gießt den Gips in eine Ringform (50 mm hoch, $\varnothing$ 35 mm), die nach zwei Minuten entfernt wird. Der herausfallende Gipsbrei verteilt sich auf einer Glasplatte. Der jeweils kleinste und größte Durchmesser wird gemessen. Bei Modellgips beim Kunststein mit hoher Festigkeit wird die Testkonsistenz mit einem modifizierten Vicatapparat durchgeführt. Bei der Bestimmung der Abbindezeit wird ein genormter Vicatapparat verwendet. Jeweils 7, 8, 9 Minuten vor Beginn des Mischens an werden die Eindringtiefen gemessen.

Da eine Messung der Kugeldruckhärte nicht vorgesehen ist, obwohl sie für die Verwendung des Gipses von großer Bedeutung ist, muß die ADA-Spezifikation unbedingt um die Kugeldruckhärtebestimmung erweitert werden.

Die BRITISH STANDARDS INSTITUTION (4) bestimmt ebenso wie die ADA in ihrem Entwurf 'Draft British Standard Specification for Dental Laboratory Plaster' vom Januar 1970 keine Kugeldruckhärte, sondern empfiehlt außer der Messung der Druckfestigkeit die Bestimmung der Abbindezeit der linearen Expansion und der Materialfeinheit noch das Kochen des Gipses für eine Stunde. Danach soll das Kristallgitter nichtverändert sein, kein Sprung und keine unzulässige Erweichung des Gipses vorhanden sein. Die Messung der Gipskonsistenz nach der Diskusmethode bzw. mit dem modifizierten Vicatapparat, wie es die ADA vorschlägt, wird nicht mehr erwähnt.

Der FACHNORMENAUSSCHUSS DENTAL im Deutschen Normenausschuß (DNA) (10) hat im August 1972 ebenfalls eine Vorlage (00 139 11) zur Normierung der Gipsprüfbedingungen eingebracht. Diese Empfehlungen konnten im experimentellen Teil aber nicht mehr berücksichtigt werden, da die Vorlage erst nach Abschluß der Untersuchung herauskam.

Der Vorschlag beinhaltet auch eine Begriffsbestimmung des Wortes 'Gips'. Als Bezeichnung für Rohgips sollte 'Gips' verwandt werden, und der Begriff 'Plaster' bezieht sich auf das durch Entwässerung aus Rohgips oder anderen gipsreichen Stoffen entstandene Produkt.

In der Vorlage sieht der Ausschuß weiterhin eine Prüfung der Detailwiedergabe, der Fließfähigkeit, des Dimensionsverhaltens, der Druckfestigkeit, der Biegefestigkeit, der Kugeldruckhärte und der Ritzbreite vor. Für alle diese Eigenschaften sind Minimalwerte vorgeschrieben.

Speziell für die Härteprüfung bezieht sich der Vorschlag auf DIN 1168 (5).

Es sind eine Stahlkugel von $D = 10$ mm, eine Vorlast von 1 Kp, eine innerhalb von 2 sec aufzubringende Hauptlast von 20 Kp und eine Belastungszeit von 15 sec vorgeschrieben.

2. Druckfestigkeit

Nach DIN 1168, Blatt 2 und DIN 1164, Blatt 7, sollen als Prüfkörpermaße für die Biegezugfestigkeit Prismen von $4 \times 4 \times 16$ cm gelten. Die Bruchstücke aus diesen Versuchen werden dann bei der Bestimmung der Druckfestigkeit verwendet. Der Druck erfolgt auf die Seitenflächen der Proben. Die Bruchfläche beträgt $4 \times 6,25$ cm = 25 cm^2 . Die Belastung ist in 1 sec um 200 - 300 Kp zu steigern (DIN 1164, Blatt 7).

Der FACHNORMENAUSSCHUSS DENTAL bezieht sich in seiner Empfehlung auf die o.a. DIN-Vorschriften.

Die ADA empfiehlt in ihrem Vorschlag die Druckfestigkeitsmessung bei fünf zylindrischen Prüfkörpern mit den Maßen 20 mm ϕ , 40 mm Höhe. Die Modellgipsproben sollen einem Druck von 100 ± 20 Kp/min, die Kunststeinproben (Spezialhartgips) einem Druck von 300 ± 50 Kp/min ausgesetzt werden.

Die BRITISH STANDARDS INSTITUTION schreibt Prüfkörpermaße von $25,4 \times 25,4 \times 25,4$ mm vor. Zur Errechnung des Druckfestigkeitsdurchschnittswertes sollen fünf Prüfkörper herangezogen werden.

REHBERG und BECHERER (19) geben für die Probekörper 2 x 3 x 6 cm an, GERLACH (11), SCHUBERT (24), SCHALON und EMERICH (23), WEIKART (29) und LENZ (15) geben keine Maße und Prüfbedingungen an, SCHWINDLING und GENIESER (25) geben 5 x 5 x 3 cm an.

Da eine solche Vielfalt von Prüfbedingungen und Prüfkörpermaßen existiert, ist eine zwingende Notwendigkeit vorhanden, diese Werte auf einen einheitlichen, möglichst internationalen gleichen Normenstandard zu bringen.

II. ÜBERBLICK ÜBER DIE LITERATUR

SCHUBERT (24) mißt 1931 die Brinellhärte des Moldano-Hartgipses (Prüfbedingungen 5 mm Kugeldurchmesser, Last 50 Kp, Mischverhältnis 100 Moldano zu 30 ccm destilliertem Wasser bei einer Temperatur von 20 °C) nach einer Stunde und 24 Stunden. Messungen bei 7 Kp pro mm² und 8 Kp.

SCHALON und EMERICH (23) stellen 1933 vergleichende Untersuchungen zwischen Moldano, Alabaster und Marmorgips an. Die Härte des Moldano-Gipses ist wesentlich größer als die des Marmorgipses, und die Abbindezeiten sind auch geringer. Außerdem probierten sie verschiedene Härteprüfmethoden aus.

GERLACH (11) stellt 1933 fest, daß die Druckfestigkeit abnimmt, wenn bei Druckprüfungen die Gipsquarzgemische einer steigenden Erhitzung ausgesetzt werden. Er schließt daraus, daß die Bestandteile expandieren.

WEIKART (28) untersucht 1938 die Härte von Moldano nach einer Stunde (9,3 Kp pro mm²) und nach 24 Stunden (19,1 Kp pro mm²).

REHBERG (18) testet 1950 mit dem Härteprüfer der Firma Welltest die Gipshärte.

REHBERG und BECHERER (19) untersuchen 1954 die Faktoren, die die Gipshärte ausmachen, z.B. Brennzeit, Brenntemperatur, Mahlfeinheit und die Reinheit der Ausgangsprodukte. Die unter verschiedensten Herstellungsbedingungen erzielte Härte deutete man durch Kapillarkräfte, durch die Kristallstruktur und die Kristallgröße.

HENNIKE (12) beschreibt die Ursachen der Werteabweichung bei experimentellen Untersuchungen, z.B. Art der Anmischung, Temperatur, Apparatur, Meßuhr, Einzelbestandteile, Zeit und Industriezahlen.

PLISCHKA (17) untersucht 1966 experimentell die Kugeldruckhärte und die Abbindezeit einiger Gipse mit einer modifizierten Vicat-Methode, wobei er einen Stahlkegel mit dem Scheitelwinkel von 90° benutzt.

SOKOLOWSKI (26) verwendet 1965 zur Verhinderung der Porenbildung einen Vibrator.

RITZE (20) legt 1966 in seiner Untersuchung 'Modellwerkstoffe' dar, daß neben der Kugeldruckhärte auch die Druckfestigkeit zur Beurteilung der Gesamtfestigkeit des Materials entscheidend ist.

HOFMANN (13) untersucht 1967 das Dimensionsverhalten Härte und Kantenfestigkeit von Duroc, Velmixstone, Glastone.

LENZ (15) prüft 1969 die Härte von Moldaroc, Duroc, Galé.

EL TANNIT und IMAM (9) untersuchen 1970 den Einfluß des Vollaugens mit Wasser auf die physikalischen Eigenschaften von Gips.

JØRGENSEN und KONO (14) führen 1971 eine Versuchsreihe durch, um die Beziehung zwischen Porosität und Druckfestigkeit von zahnärztlichem Hartgips darzulegen.

SALANON (22) stellt 1972 experimentelle Untersuchungen über die Druckfestigkeit und Kugeldruckhärte verschiedener Hart- und Spezialhartgipse an.

III. VERSUCHSMATERIALIEN

Bei den Untersuchungen wurden folgende Gipssorten als repräsentative Vertreter der verschiedenen Gipsarten verwendet:

Die Modellgipse Record, Moldabaster, Non plus ultra (NPU) und die Hartgipse Duroc, Velmixstone, Moldano und Begodur.

Die folgenden Materialbeschreibungen sind Prospekten und Packungsaufschriften entnommen, da nähere Angaben von den Herstellern nicht zu bekommen sind.

1. NPU

Hersteller Ernst Hinrichs, Osterode/Harz

Mischungsverhältnis 50 ccm Wasser zu 90 - 100 g

Alabastergips

Die Abbindezeit beträgt 15 - 18 Min., die Anrührzeit sollte mindestens 1 Min. betragen.

Der Gips zeichnet sich durch seine außergewöhnliche Härte aus.

2. Moldabaster

Hersteller Bayer AG

Anmischverhältnis 100 g Pulver zu 55 ml Wasser

Abbindezeit bei 23 °C 18 Min.

Brinellhärte bei einer Belastungszeit von 60 sec. 3,0

Abbindeexpansion 0,3 %, Verarbeitungszeit 7 Min.

3. Record

Hersteller Karl Albau, 3160 Lehrte

Mischungsverhältnis 100 ccm Wasser zu 150 g Gips

Abbindezeit 10 - 12 Min.

Gießzeit 2,5 - 3 Min., Streichzeit 4 - 6 Min.

Trockenwertfestigkeiten: Druckfestigkeit 195 Kp/cm²

Biegefestigkeit 76 Kp/cm²

4. Duroc

Hersteller Ransom and Randolph Co.

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 24 ccm : 100 g

Erste Erhärtungsperiode = 8 - 10 min.

Expansion 0,05 % linear

In Fällen, wo auf allergrößte Genauigkeit und Härte

Wert gelegt wird, ist Duroc der ideale Hartgips.

Seine Expansion nach dem Erhärten ist nur halb so groß wie die anderen Hartgipse und seine Kompressionsfestigkeit ist 50 % größer. Die Oberfläche ist äußerst glatt und trotzdem widerstandsfähig gegen Abrasion oder Abblättern.

Wegen dieser Vorteile ist Duroc das vollkommenste Material für Arbeitsmodelle, zur Vorbereitung von Modellgüssen, von Brückenarbeiten, für partielle Prothesen und für Zahnmodelle.

5. Velmixstone

Hersteller Kerr

Physikalische Eigenschaften: Abbindeexpansion 0,04 - 0,08 (nach zwei Stunden), Abbindezeit (Vicat): 8 - 10 Min.

Brinellhärte 41 Kp/mm²

Kerr Velmixstone wird wie jeder herkömmliche Hartgips mit Wasser gemischt. Ein Mischungsverhältnis Pulver : Wasser von 4:1, d.h. 100 g Pulver auf 22 - 25 ccm Wasser wird empfohlen.

6. Moldano

Hersteller Bayer AG

Blauer Hartgips

Seit vielen Jahren durch seine gleichbleibende Qualität einer der bekanntesten Spezialhartgipse für die zahnärztliche Technik. Praktisch volumenbeständig, deshalb ein Höchstmaß an Modelltreue. Besonders schab- und kratzfest, keine Beschädigung des Modells.

Anrührkonsistenz 100 : 30

Beim Einrütteln cremartiges Ausfließen in jede Feinheit des Abdrucks

Völlig indifferent gegenüber modernen Abformmassen, keine Veränderungen der Modelloberfläche.

7. Begodur

Hersteller Herbst

Spezialhartgips für Mustermodele

Hervorragend geeignet für die Anfertigung kantenfester Modelle

Verarbeitung: Die Härte des Gipsmodells wird durch das Anmischverhältnis bestimmt. Für ein Kiefermodell empfiehlt sich 100 g Begodur mit 25 ccm Wasser zu mischen (Mischungsverhältnis 1:4). Die etwas dicker als gewöhnlich angerührte Mischung läßt sich auf dem Vibrator leicht durchspateln. Für kleinere Modelle kann der Gipsanteil auf 4,5 Anteile erhöht werden.

Die Abbindezeit kann durch kürzeres oder längeres Anrühren selbst reguliert werden.

IV. VERSUCHSBEDINGUNGEN

Die Bestimmungen der Kugeldruckhärte und der Druckfestigkeit unterlagen folgenden Bedingungen:

1. Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Die Arbeitstemperatur lag bei Zimmertemperatur von 23°C und die relative Luftfeuchtigkeit bei $50\% \pm 10\%$. Die folgenden Vorschläge stimmen größtenteils damit überein.

Die ADA (1) schreibt als Prüfbedingungen die gleichen Werte vor:

"Die Herstellung der Prüfkörper und das Testverfahren sollen bei Zimmertemperatur $23^{\circ} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ und bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von $50\% \pm 10\%$ durchgeführt werden. Die Prüfgeräte und das Material sind diesen Bedingungen mindestens 10 Stunden vor Durchführung des Tests auszusetzen."

Die BRITISH STANDARDS INSTITUTION (4) gibt als Anrühr- und Testtemperatur $23^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ an. Die Werte für die relative Luftfeuchtigkeit bleiben unerwähnt.

Der FACHNORMENAUSSCHUSS DENTAL (10) richtet sich in seiner Empfehlung nach DIN 50014. Es ist darin ein Normalklima von 23°C und von 50% relativer Luftfeuchtigkeit angegeben.

2. Apparatur

a) Kugeldruckhärte

Kugeldruckhärteprüfer 'Z 426' der Firma Zwick & Co.,
Einsingen:

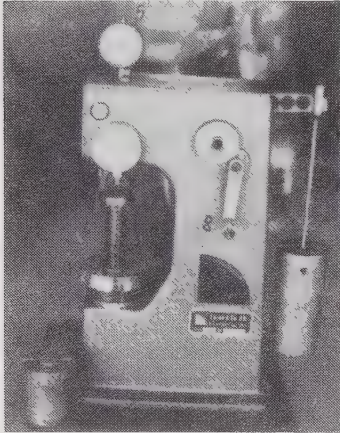


Abb. 1

- 1 Auflagetisch
- 2 Spindel
- 3 Handrad
- 4 Eindringkörper
- 5 Meßuhr
- 6 Hauptlast
- 7 Vorlast
- 8 Belastungshebel

Der zu untersuchende Prüfkörper wird auf den Auflagetisch (1) der Spindel (2) gelegt. Mit dem Handrad (3) wird der Prüfkörper dann langsam gegen den Eindringkörper (4) hochgefahren.

Der Eindringkörper hebt sich, und der Meßuhrzeiger (5) beginnt zu wandern. Es wird so lange weitergedreht, bis der große und der kleine Meßuhrzeiger auf der Markierung 'Null' stehen.

Alle Prüfbedingungen beziehen sich auf die Vorlast (7) von 1 Kp, die Hauptlast (6) von 50/20 Kp und die Ablesung der Eindringtiefe in 0,01 mm.

Nun wird der Belastungshebel (8) langsam entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht, bis die Hauptlast frei auf dem Prüfkörper aufliegt. Nach 15 sec Belastungsdauer wird der Prüfkörper entlastet und unter Vorlast die Eindringtiefe an der Meßuhr abgelesen.

Die Vorschriften der Firma Zwick sehen neben DIN 1168 (20 Kp Hauptlast, Kugeldurchmesser 10 mm, 1 Kp Vorlast, 15 sec Belastungszeit) noch entsprechend der Härte des Gipses 100 Kp, 50 Kp oder 20 Kp vor.

Der Kugeldurchmesser von 5 mm mußte gewählt werden, weil der Durchmesser des Eindrucks in bezug auf die Prüfkörperoberfläche zu groß geworden wäre.

Die Hauptlast mußte auf 50 Kp bei den Hartgipsen erhöht werden, da sonst nach DIN 50351 das Verhältnis des Kugeleindrucks (d) zum Kugeldurchmesser (D) nicht in der Relation $d = 0,2 - 0,7 D$ gestanden hätte.

Man mißt nach Entlastung unter Vorlast von 1 Kp, weil Gips keine meßtechnisch bedeutende elastische Rückverformung aufweist und um die genormte Aufbiegung des Prüfgerätes außerachtlassen zu können.

Die ADA und die BRITISH STANDARDS INSTITUTION schreiben keine Kugeldruckhärteprüfungen vor.

b) Druckfestigkeit

Die Staatliche Ingenieurschule in Mainz stellte für die Dauer der experimentellen Untersuchung ihre hydraulische Öldruckpresse Nr. 4385/1956 zur Verfügung (Hersteller: Mohr & Federhaff AG, Mannheim).



Abb. 2

1. Presse

- Pz Preßzylinder
- D Druckzylinder (Platte)
- G Grundplatte

2. Steuerstand

- M Meßuhr
- B Belastungsge-
- + schwindigkeit
- Z Schleppzeiger
- G Belastungsge-
- schwindigkeits-
- geber

Die hydraulische Presse besteht aus zwei Teilen

1. Presse
2. Steuerstand.

zu 1)

Die Presse besteht aus einer Druckplatte, die oben an einer Traverse befestigt ist und sich beim Auflegen auf die Prüfkörperoberfläche deren Neigung anpaßt. An der Basis ist der vertikal bewegliche Preßzylinder installiert. Auf diesem Zylinder ist wiederum eine Grundplatte befestigt, auf die der Prüfkörper gestellt wird.

Der untere Preßzylinder fährt schließlich mit dem auf der Grundplatte aufliegenden Probekörper gegen die obere Druckplatte.

zu 2)

Der Steuerstand befindet sich rechts von der Presse und besteht aus einem Gehäuse (G), einer Meßuhr (M) und einem in der Meßuhr befindlichen Belastungsgeschwindigkeitsanzeiger (B). Im Gehäuse liegt die hydraulische Pumpe (Pz). Rechts am Steuerstand liegt der Belastungsgeschwindigkeitsgeber (G), der von Hand bedient wird und synchron mit dem Belastungsgeschwindigkeitsanzeiger geführt werden muß. In der Meßuhr läuft weiterhin ein Schleppzeiger (Z), der das Ablesen des Druckwertes in Kp nach Ende des Prüfvorganges bzw. Bruch des Prüfkörpers ermöglicht. Die Belastungsgeschwindigkeit wird so eingestellt, daß nach 60 - 90 sec der Bruch des Prüfkörpers erfolgt.

Die ADA empfiehlt einen Druck von 100 ± 20 Kp/min.
bei Modellgipsen und bei Hartgipsen 300 ± 50 Kp/min.

Die BRITISH STANDARDS INSTITUTION schreibt folgendes vor:
"Testing machine: Any suitable equipment may be used
with the rate of loading adjusted so that breakage
of the test specimen occurs in 1,5 - 2 minutes."

Gemäß DIN 1168 (5) soll die Belastung in einer Sekunde
um 200 - 300 Kp gesteigert werden.

Eine Kraftsteigerung von 15 ± 5 Kp/cm² in der Sekunde
schreibt DIN 1164 vor (6).

Der DEUTSCHE FACHNORMENAUSSCHUSS DENTAL stützt sich in
seinen Empfehlungen auf DIN 1168.

3. Anmischvorgang

Die Raum-, Gips-, Wasser- und Prüfgerätemperatur beträgt
ca. 2, °C.

Jede Gipssorte wird gemäß den Herstellerangaben im richtigen Verhältnis Pulver : Wasser angemischt. Zuerst wird mit einer Waage das Gipspulver abgewogen. In einem geeigneten Gefäß wird destilliertes Wasser abgemessen und in den Behälter des Anrührgerätes gegeben. Das Gipspulver wird hinzugestreut und gleichzeitig vom Beginn des Einstreuens an spatelt man 20 sec lang von Hand den Gipsbrei durch und daran anschließend wird nochmals 30 sec automatisch unter Vakuum mit dem Mischgerät Multivac 2 der Firma Degussa (360 U/min) gerührt.

So kann man etwaig auftretende Luftblasen verhindern, die bei Kugeldruckhärte- und Druckfestigkeitsmessungen eine große Wertestreuung hervorrufen würden.

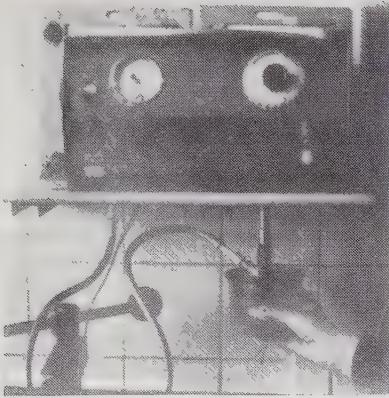


Abb. 3

Degussa Multivac 2

- 1 Anrührbehälter
- 2 Vakuumanzeiger
- 3 Zeitvorwahl

Der Gipsbrei wird dann in die mit Vaseline eingefettete Formen, die auf einer Glasplatte stehen, unter Zuhilfenahme des Rüttelgerätes, eingegeben. Die Oberseite des Prüfkörpers streicht man mit einer Glasplatte bündig.

Bei der Methodik des Anrührens sind etliche verschiedenartige Vorschläge erschienen.

Die ADA (1) schlägt als Mischverfahren folgendes vor:

"Vor dem Abwiegen der Gipsprobe zum Prüfen soll das trockene Material völlig durchgemischt werden, indem der Behälter von einem Ende zum anderen bewegt oder gerollt wird, sofern genügend Luftraum in dem Behälter ist und das Material sich frei bewegen kann. Der Gips oder der Kunststein, der für die Herstellung aller Prüfkörper verwendet wird, sollte mit ausreichend destilliertem Wasser ($23 \pm 2,0$ °C) vermischt werden, um eine Mischung für die Testkonsistenz zu ergeben. Die Testkonsistenz wird definiert als das Gips-Wasser-Verhältnis, das einen Diskusdurchmesser (Slump pat diameter) oder eine kegelförmige Eindringtiefe ergibt.

Man erhält die Standardmischung, indem man der vor-schriftsmäßigen Wassermenge in einem Gummi- oder Plastik-mischbecher mit einem Durchmesser von 10 bis 13 cm das trockene Pulver zusetzt. Die Mischung soll 30 sec weichen und dann mit einem runden Spatel mit einer steifen Klinge während einer Minute mit 120 Umdrehungen pro Minute zu einer glatten Konsistenz gerührt werden. Der Spatel soll eine Klinge von 1,9 bis 2,5 cm Breite haben und 9 bis 13 cm lang sein."

Der FACHNORMENAUSSCHUSS DENTAL (10) hat folgende Richtlinien vorgeschlagen:

"Zum Mischen des Plasterbreies soll destilliertes Wasser von $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ verwendet werden. Zum Abmessen der Wassermengen sind nur geeichte Gefäße zu verwenden. Die Geräte zum Mischen sind nach Gebrauch gründlich zu reinigen und abzutrocknen, weil Spuren von erhärtetem Gips die Prüfergebnisse verfälschen können...

Die Gebrauchsanweisungen der Hersteller sollen genau eingehalten werden. Der Hersteller soll das W/P-Verhältnis für die Prüfungen in cm^3 und g angeben.

Das trockene Material soll vor jeder Entnahme völlig durchgemischt werden. Die Plastermenge wird abgewogen und in das abgemessene destillierte Wasser eingestreut. Die Sumpfzeit beträgt 30 sec. Gemischt werden soll mit dem Rührgerät MOTAVA der Bremer Goldschlägerei (320 U/min) oder MULTIVAC 2 der Firma Degussa (360 U/min).

Bei Handmischung müssen 120 U/min eingehalten werden."

Eine genaue Angabe über die Dauer des Mischens wurde von dem FACHNORMENAUSSCHUSS DENTAL nicht gemacht.

Die BRITISH STANDARDS INSTITUTION empfiehlt in ihrem Entwurf (4):

"Procedure: Within a period of approximately 10 seconds sprinkle, from a suitable container, 200 g of plaster into the determined quantity of water (see 2.3), in such a manner that the entrapment of air is avoided as far as possible. During the next 20 seconds vibrate the bowl slightly to facilitate wetting of the plaster and to eliminate any entrapped air. Mix the ingredients at the rate of 2 to 3 cycles per second for 30 seconds (a total of 60 - 90 cycles), using a circular stirring motion. Immediately transfer the mixed plaster to the moulds or testing apparatus."

Bewährt hat sich auch die von der ADA aufgestellte 'Specification No. 2 for Casting Investment for dental gold alloy' (2):

(Übersetzung)

1. Das Pulver soll dem Wasser in einem geeigneten Mischgefäß zugefügt und mit der Hand sofort für 20 sec gerührt werden. Die Zeit der ersten Berührung des Pulvers mit dem Wasser soll als Beginn des Mischens betrachtet werden.
2. Nach dem Rühren mit der Hand soll die Mischung mechanisch gerührt werden mit 100 Umdrehungen eines feststehenden Flügelblattes, etwa 15 sec lang.

Da alle Empfehlungen um etliches differieren, habe ich mich für das 20 Sekunden-dauernde Spateln von Hand und das anschließend 30 Sekunden-lange Anrühren unter Vakuum deshalb entschieden, weil durch das manuelle Anrühren von Hand eine bessere und sofortige Bindung des Wassers auch mit dem am Gipsnapf haftenden Gips gewährleistet ist. Weiterhin kann durch das automatische Anrühren unter Vakuum besser die Luftblasenbildung verhindert werden.

4. Zeitpunkt der Prüfung

1) Kugeldruckhärte: 24 Stunden nach Anrühren

2) Druckfestigkeit: 24 Stunden nach Anrühren

Zur Bestimmung einer evtl. Korrelation zwischen den beiden Werten genügen die 24 Stundenmessungen.

5. Probekörpermaße

Kugeldruckhärte: Höhe 40 mm, Durchmesser 20 mm

Druckfestigkeit: siehe Kugeldruckhärte.

Zur Bestimmung der Kugeldruckhärte und Druckfestigkeit habe ich die gleichen Prüfkörpermaße verwendet, da bei den Korrelationsmessungen zwischen der Druckfestigkeit und Kugeldruckhärte gleiche Prüfkörpermaße Voraussetzung sind.

Die Maße entsprechen dem ADA-Vorschlag:

"Die Druckfestigkeit ist bei fünf zylindrischen Prüfkörpern von 20 mm Durchmesser und von 40 mm Höhe zu bestimmen."

Die BRITISH STANDARDS INSTITUTION schreibt Prüfkörpermaße von 25,4 x 25,4 x 25,4 mm vor.

Der FACHNORMENAUSSCHUSS DENTAL stützt sich in seiner Empfehlung auf DIN 1164. Darin sind Prüfkörpermaße von $160 \pm 0,4$ x $40 \pm 0,1$ x $40 \pm 0,1$ mm vorgesehen.

Wie bereits vorher angeführt, erschien dieser Vorschlag erst nach Abschluß des experimentellen Teils dieser Arbeit.

Da die Prüfkörpermaße der ADA eine zylindrische Form ergeben, wird auch die Herstellung der Prüfkörperschablonen erleichtert, indem diese durch Abdrehen eines Rohres ge-

wonnen werden. Außerdem wäre bei etwaigen Ecken in den Metallformen nur eine erschwerte Reinigung möglich und die Gipsprüfkörper würden beim Entfernen aus der Form durch die Verkantung stärker an dieser haften.

Die Metallformen bestehen aus einem gedrehten Messingring und zwei Messinghalbschalen, die - beide zu einem Ring zusammengesteckt - in den äußeren Messingring eingeschoben werden. So ist eine feste Führung der Halbschalen gewährleistet, die bei einer Fixierung durch Schlauchschellen nicht in dem Maße besteht.

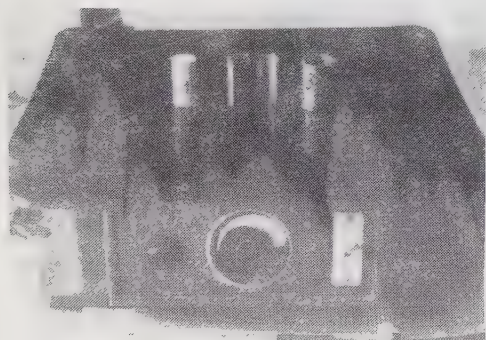


Abb. 4

- 1 Prüfkörper
- 2 innere Halbringe
- 3 Außenring

Die inneren Halbschalen haben einen Innendurchmesser von 20 mm. Sie entstanden aus einem Messingrohr, das innen auf 20 mm ϕ aufgedreht und dann längsgesteilt wurde. Ein zweites Messingrohr wurde auf die entsprechend größere lichte Weite aufgedreht, so daß die inneren Schablonen hineinpaßten. Die Innen- sowohl als auch die Außenschablonen wurden auf eine Länge von 40 mm abgedreht.

6. Anzahl der Probekörper

- 1) Kugeldruckhärte: 5 Probekörper pro Gipssorte
- 2) Druckfestigkeit: siehe Kugeldruckhärte.

7. Lagerung der Probekörper

Temperatur 23 °C, relative Luftfeuchtigkeit 100 %.

Eine halbe Stunde nach Beginn des Anmischvorganges wurden die Prüfkörper in das Wasserbadgerät, Typ 3047, (Hersteller: Köttermann, 3165 Hänigsen über Lehrte) auf ein Rost gestellt, unter dem sich Wasser befand.

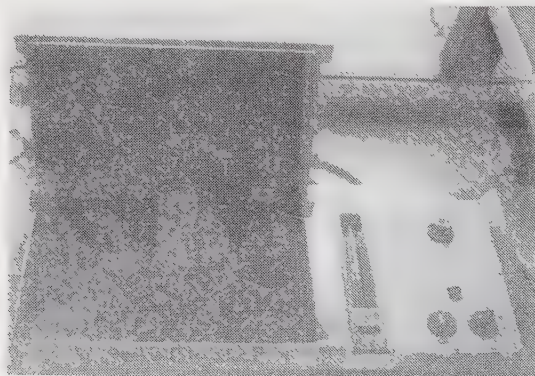


Abb. 5

- 1 Behälter
- 2 Deckel

Köttermann-Wasserbad



Abb. 6

- 1 Thermometer mit Thermostat
- 2 Energieregler
- 3 Minutenvorwahl
- 4 zeitlich unbegrenzte Einstellung
- 5 Rütteln des Behälters

Dieses Gerät ermöglicht eine präzise Temperaturvorwahl, indem ein Energieregler über ein Quecksilberkontaktthermometer in Verbindung mit einem Kontaktschutzrelais die Temperatur regelt. Somit wird keine Korrektur nach der Temperaturvorwahl erforderlich. Der installierte Heizkörper kann bei kühleren Außentemperaturen das Durchlaufwasser erhitzen. Die Wärmeabgabe wird durch einen Energieregler gut dosiert.

Innerhalb des Lagerungsraumes ist ein Temperaturbereich unter Ausnutzung der Wasserkühlanlage von ca. 2 °C über Wasserdurchlauftemperatur bis zum Siedepunkt regelbar.

Durch dieses Gerät war ich in der Lage, an heißen Sommertagen, an denen die Raumtemperatur stark von 23 °C abwich, die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit konstant zu erhalten.

Die zur Anwendung gekommenen Prüfbedingungen basieren auf den Empfehlungen der ADA.

Im britischen Vorschlag ist ebenfalls die Temperatur von 23 °C erwähnt. Zur Luftfeuchtigkeit wird gesagt:

"Container for storage of test specimens in which an atmosphere of high relative humidity may be maintained. It is suggested that a plastics box with an airtight lid, containing water to a depth of approximately 2 - 3 mm, be used, but any enclosed space which will effectively prevent dehydration of the test specimens prior to testing, would be suitable."

Der FACHNORMENAUSSCHUSS DENTAL schreibt gemäß DIN 50014 nur ein Normalklima von 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit vor.

V. VERSUCHSERGEBNISSE MIT TABELLEN

1. Ergebnisse der Druckfestigkeitsbestimmung
Tabelle 1 - 7

2. Ergebnisse der Kugeldruckhärteprüfung
Tabelle 8 - 14

MODELLGIPSE

Tabelle 1

NPU

Druckfestigkeitsbestimmung
nach 24 Stunden

Proben-Nr.	Druck in Kp
1	220 Kp
2	260 Kp
3	280 Kp
4	280 Kp
5	280 Kp
Mittelwert	264 Kp

Tabelle 2

MOLDABASTER

Druckfestigkeitsbestimmung
nach 24 Stunden

Proben-Nr.	Druck in Kp
1	240 Kp
2	280 Kp
3	260 Kp
4	240 Kp
5	220 Kp
Mittelwert	248 Kp

Tabelle 3

RECORD

Druckfestigkeitsbestimmung
nach 24 Stunden

Proben-Nr.	Druck in Kp
1	160 Kp
2	140 Kp
3	150 Kp
4	150 Kp
5	160 Kp
Mittelwert	152 Kp

HARTGIPSE

Tabelle 4

DUROC

Druckfestigkeitsbestimmung
nach 24 Stunden

Proben-Nr.	Druck in Kp
1	640 Kp
2	740 Kp
3	590 Kp
4	560 Kp
5	680 Kp
Mittelwert	622 Kp

Tabelle 5

MOLDANO

Druckfestigkeitsbestimmung
nach 24 Stunden

Proben-Nr.	Druck in Kp
1	460 Kp
2	550 Kp
3	480 Kp
4	460 Kp
5	420 Kp
Mittelwert	474 Kp

Tabelle 6

BEGODUR

Druckfestigkeitsbestimmung
nach 24 Stunden

Proben-Nr.	Druck in Kp
1	600 Kp
2	620 Kp
3	880 Kp
4	740 Kp
5	680 Kp
Mittelwert	704 Kp

Tabelle 7

VELMIXSTONE

Druckfestigkeitsbestimmung
nach 24 Stunden

Proben-Nr.	Druck in Kp
1	800 Kp
2	820 Kp
3	780 Kp
4	680 Kp
5	700 Kp
Mittelwert	756 Kp

MODELLGIPSE

Tabelle 8

NPU

Kugeldruckhärteprüfung nach 24 Stunden

Hauptlast 20 Kp

Kugeldurchmesser 5 mm

Belastungszeit 15 sec

Nr. des Prüf- körpers	Kugeldruckhärtemessungen (Eindringtiefe in 0,01 mm)					Mittel- wert
	1	2	3	4	5	
1	43,6	42,7	42,2	42,2	42,9	42,72
2	43,9	43,8	43,8	43,9	44,4	43,96
3	43,8	43,1	42,7	44,6	44,2	43,68
4	44,8	45,7	44,6	44,4	44,4	44,78
5	44,8	46,2	45,8	44,3	46,5	45,52
Mittel- wert in 0,01 mm	44,18	44,30	43,82	43,88	44,48	44,13

$$\begin{aligned}
 \text{Mittelwert der Härtezahlen} &= 288 \text{ Kp/cm}^2 \\
 &= 2,88 \text{ Kp/mm}^2
 \end{aligned}$$

Tabelle 9

MOLDABASTER

Kugeldruckhärteprüfung nach 24 Stunden

Hauptlast 20 Kp

Kugeldurchmesser 5 mm

Belastungszeit 15 sec

Nr. des Prüf- körpers	Kugeldruckhärtemessungen (Eindringtiefe in 0,01 mm)					Mittel- wert
	1	2	3	4	5	
1	52,3	52,7	51,2	50,2	50,4	51,36
2	53,8	51,6	53,0	52,1	52,9	52,50
3	53,7	51,8	52,8	53,3	53,9	52,70
4	55,2	54,3	55,0	55,0	55,3	54,98
5	53,9	53,8	54,0	53,5	53,8	53,80
Mittel- wert in 0,01 mm	53,78	52,84	53,20	52,42	53,08	53,07

$$\begin{aligned}\text{Mittelwert der Härtezahlen} &= 240 \text{ Kp/cm}^2 \\ &= 2,40 \text{ Kp/mm}^2\end{aligned}$$

Tabelle 10

RECORD

Kugeldruckhärteprüfung nach 24 Stunden

Hauptlast 20 Kp

Kugeldurchmesser 5 mm

Belastungszeit 15 sec

Nr. des Prüf- körpers	Kugeldruckhärtemessungen (Eindringtiefe in 0,01 mm)					Mittel- wert
	1	2	3	4	5	
1	76,3	74,3	76,2	73,3	74,8	74,98
2	65,7	65,2	67,1	67,1	70,8	67,18
3	79,7	79,9	80,1	80,3	80,8	80,16
4	81,7	80,3	80,2	80,7	81,4	80,86
5	81,8	81,7	81,5	81,9	81,8	81,74
Mittel- wert in 0,01 mm	77,04	76,28	77,02	76,66	77,92	76,98

$$\begin{aligned} \text{Mittelwert der Härtezahlen} &= 121 \text{ Kp/cm}^2 \\ &= 1,21 \text{ Kp/mm}^2 \end{aligned}$$

HARTGIPSE

Tabelle 11

DUROC

Kugeldruckhärteprüfung nach 24 Stunden

Hauptlast 50 Kp

Kugeldurchmesser 5 mm

Belastungszeit 15 sec

Nr. des Prüf- körpers	Kugeldruckhärtemessungen (Eindringtiefe in 0,01 mm)					Mittel- wert
	1	2	3	4	5	
1	19,1	19,2	19,0	18,9	19,4	19,12
2	19,4	19,4	19,9	18,6	19,7	19,40
3	18,9	19,0	20,3	20,8	18,7	19,54
4	18,6	19,9	21,6	21,4	19,3	20,16
5	19,3	19,4	19,4	18,9	18,1	19,02
Mittel- wert in 0,01 mm	19,06	19,38	20,04	19,72	19,04	19,45

Mittelwert der Härtezahlen = 1637 Kp/cm^2

= $16,37 \text{ Kp/mm}^2$

Tabelle 12

MOLDANO

Kugeldruckhärteprüfung nach 24 Stunden

Hauptlast 50 Kp

Kugeldurchmesser 5 mm

Belastungszeit 15 sec

Nr. des Prüf- körpers	Kugeldruckhärtemessungen (Eindringtiefe in 0,01 mm)					Mittel- wert
	1	2	3	4	5	
1	44,1	43,3	42,4	42,3	43,7	43,16
2	41,6	42,8	41,7	41,7	41,6	41,88
3	44,3	44,7	42,2	44,2	45,6	44,20
4	45,7	44,9	46,9	46,8	46,3	46,12
5	42,0	42,7	41,6	42,3	41,7	42,06
Mittel- wert in 0,01 mm	43,54	43,68	42,96	43,46	43,78	43,48

Mittelwert der Härtezahlen = 732 Kp/cm^2

= $7,32 \text{ Kp/mm}^2$

Tabelle 13

BEGODUR

Kugeldruckhärteprüfung nach 24 Stunden

Hauptlast 50 Kp

Kugeldurchmesser 5 mm

Belastungszeit 15 sec

Nr. des Prüf- körpers	Kugeldruckhärtemessungen (Eindringtiefe in 0,01 mm)					Mittel- wert
	1	2	3	4	5	
1	16,2	15,2	14,9	15,5	14,6	15,28
2	15,5	15,8	15,1	15,3	15,0	15,34
3	15,6	16,1	16,1	14,9	14,6	15,46
4	15,9	15,2	16,1	15,7	15,7	15,92
5	16,0	15,8	15,3	15,2	15,3	15,52
Mittel- wert in 0,01 mm	15,84	15,62	15,50	15,32	15,04	15,50

$$\begin{aligned}
 \text{Mittelwert der Härtezahlen} &= 2062 \text{ Kp/cm}^2 \\
 &= 20,62 \text{ Kp/mm}^2
 \end{aligned}$$

Tabelle 14

VELMIXSTONE

Kugeldruckhärteprüfung nach 24 Stunden

Hauptlast 50 Kp

Kugeldurchmesser 5 mm

Belastungszeit 15 sec

Nr. des Prüf- körpers	Kugeldruckhärtemessungen (Eindringtiefe in 0,01 mm)					Mittel- wert
	1	2	3	4	5	
1	13,9	13,5	14,0	13,3	13,8	13,70
2	14,1	14,3	14,6	14,5	14,0	14,30
3	14,4	14,1	14,9	14,3	14,2	14,38
4	14,4	15,9	16,0	14,8	15,5	15,32
5	14,4	15,8	14,7	13,9	13,8	14,52
Mittel- wert in 0,01 mm	14,24	14,72	14,84	14,16	14,26	14,44

Mittelwert der Härtezahlen = 2272 Kp/cm^2

= $22,72 \text{ Kp/mm}^2$

VI. STATISTISCHE AUSWERTUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

Die nachfolgenden, das Verständnis der Tabellen erleichternden Ausführungen können durch das Zurückgreifen auf Fachliteratur (21, 27, 16) vervollständigt werden.

Zuerst wurden die Streuungen um die bei den Härte- bzw. Druckfestigkeitsmessungen errechneten Mittelwerte der Modell- und Hartgipse untersucht, indem einfache Varianzanalysen mit anschließenden F-Tests durchgeführt wurden. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 15, 16, 19 und 20 dargestellt.

Die Varianz (S^2), in der zweiten Spalte der Varianzanalysetabellen aufgeführt, ist ein Maß dafür, wie stark die Messungen durchschnittlich von ihrem arithmetischen Mittel bzw. Mittelwert abweichen. Sie wird folgendermaßen berechnet:

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

n = Anzahl der Messungen

x = einzelner Wert

Die positive Wurzel aus der Varianz wird als Standardabweichung bezeichnet: $\sqrt{S^2} = S$.

Das statistische Verfahren 'Varianzanalyse' zerlegt die Gesamtstreuung in unserem Falle in die Streuung innerhalb der Gipssorten sowie die Streuung zwischen den Gipssorten (in den Varianzanalyse-Tabellen unter SAQ und MAQ aufgeführt).

Ob die Streuung zwischen den Gipssorten wesentlich größer ist als die Streuung innerhalb der Gipssorten (d.h., ob wesentliche Unterschiede zwischen den Gipssorten bestehen), wird nach Vorgabe einer Irrtumswahrscheinlichkeit α durch den F-Test entschieden. Überschreiten die errechneten F-Werte die entsprechenden tabulierten Werte der F-Verteilung, so

sprechen wir von einem statistisch signifikanten Ergebnis, wenn vorher eine Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,01$ vereinbart wurde. Bei einem $p \leq 0,05$ sprechen wir von einem statistisch auffälligen Ergebnis.

Im Rahmen der einfachen Varianzanalyse liefert der F-Test nur die pauschale Aussage: "Die fünf Druckfestigkeits- bzw. Kugeldruckhärtewerte sind nicht als gleichwertig anzusehen."

Um nun zu entscheiden, welche der Mittelwertsdifferenzen 1 - 2, 1 - 3, 2 - 3 sich mehr als nur zufällig von 0 unterscheiden, wurden für die Erwartungswerte dieser Differenzen Konfidenzintervalle nach Scheffé berechnet. Diese Konfidenzintervalle haben folgende Form:

$$\hat{L} - S \cdot \sqrt{\text{MAQ}_{\text{innerh.}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^k c_j^2}{r_j}} \leq L \leq \hat{L} + S \cdot \sqrt{\text{MAQ}_{\text{innerh.}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^k c_j^2}{r_j}}$$

$\hat{L}$ = die zu beurteilende Mittelwertsdifferenz

L = Erwartungswert der Mittelwertsdifferenz

$S = \sqrt{(k-1) F_1 - \lambda / (k-1/f)}$

F_1 = Wert der F-Verteilung bei Irrtumswahrscheinlichkeit α und $k-1$ Zähler- sowie f Nenner-Freiheitsgraden

k = Anzahl der verglichenen Mittelwerte

$\text{MAQ}_{\text{innerh.}}$ = wird der Varianzanalyse entnommen

j = Gruppenindex

c_j = Koeffizient für den j -ten in der Differenz verwendeten Gruppenmittelwert (hier ist $c = 1$)

r_j = Anzahl der dem j -ten Mittelwert zugrundeliegenden Einzelwerte

Eine Mittelwertsdifferenz L ist dann signifikant von 0 verschieden, wenn ihr Betrag größer ist als der Ausdruck

$$S \cdot \sqrt{\text{MQ}_{\text{innerh.}} \cdot \frac{\sum_j c_j^2}{r_j}}$$

Um die Mittelwertsdifferenzen darzustellen, habe ich die Werte in eine Vergleichsmatrix eingetragen, indem die Werte nach Größe gestaffelt wurden, um immer einen positiven Wert in der Differenz zu erzielen. Die signifikanten Unterschiede, die auffälligen und die nicht signifikanten Unterschiede wurden besonders gekennzeichnet.

Zur Darstellung der Art des Zusammenhangs zwischen den Druckfestigkeits- und Kugeldruckhärtewerten wurden für die einzelnen Gipssorten Korrelationsdiagramme angefertigt (Diagramm 1 - 8).

1. Ergebnisse

a) Kugeldruckhärte

Bei den Modellgipsen NPU = 1, Moldabaster = 2, Record = 3, haben wir bei dem Vergleich der Varianzen (F-Test) a und b (a = zwischen den gesamten Mittelwerten der einzelnen Gipssorten, b = innerhalb der fünf Einzelmittelwerte eines Gipses) einen signifikanten Unterschied festgestellt.

Zur Entscheidung, ob die Mittelwertsdifferenzen der Kugeldruckhärte zweier Gipse sich mehr als nur zufällig (signifikant) von Null unterscheiden, wurden diese mit den für die Erwartungswerte dieser Differenzen errechneten Konfidenzintervallen nach Scheffé verglichen.

Hierbei ergaben sich bei dem Verhältnis NPU : Moldabaster, NPU : Record und Moldabaster : Record signifikante Unterschiede.

Bei den Hartgipsen Duroc = 1, Moldano = 2, Begodur = 3, Velmixstone = 4, zeigte sich beim Vergleich der Varianzen (F-Test) ebenfalls ein signifikanter Unterschied.

Beim Test nach Scheffé stellten sich signifikante Unterschiede bei einem Vergleich von Duroc : Moldano, Duroc : Begodur, Duroc : Velmixstone, Moldano : Begodur und Moldano : Velmixstone heraus. Zwischen Begodur und Velmixstone bestand kein signifikanter Unterschied.

b) Druckfestigkeit

Bei den Modellgipsen NPU, Moldabaster und Record haben wir bei dem Vergleich der Varianzen (F-Test) a und b ebenfalls einen signifikanten Unterschied festgestellt.

Beim Test nach Scheffé ergab sich bei dem Vergleich von NPU : Moldabaster kein signifikanter Unterschied. Bei einem Verhältnis NPU : Record und Moldabaster : Record bestand ein signifikanter Unterschied.

Die Hartgipse Duroc, Moldano, Begodur und Velmixstone zeigten beim Vergleich der Varianzen auch einen signifikanten Unterschied.

Der Test nach Scheffé verdeutlicht beim Vergleich von Duroc : Moldano einen auffälligen Unterschied. Beim Verhältnis Duroc : Begodur, Duroc : Velmixstone und Begodur : Velmixstone sind keine signifikanten Unterschiede errechnet worden.

Beim Vergleich Moldano : Begodur und Moldano : Velmixstone wurde ebenfalls ein signifikanter Unterschied festgestellt.

Zusammenhang Kugeldruckhärte : Druckfestigkeit

Den Korrelationsdiagrammen (Diagramm 1 - 8) ist zu entnehmen, ob und in welchem Maße eine lineare Abhängigkeit der Druckfestigkeitswerte von den Kugeldruckhärtewerten bei den einzelnen Gipsen besteht.

NPU in Diagramm 1 besitzt bei steigenden Druckfestigkeitswerten eine verminderte Kugeldruckhärte. Die Gerade verdeutlicht eine annähernd lineare Abhängigkeit mit flacher positiver Steigung.

Moldabaster in Diagramm 2 zeigt einen annähernd linearen Zusammenhang mit flacher negativer Steigung der Geraden, d.h. eine größere Druckfestigkeit geht mit einer zunehmenden Kugeldruckhärte einher.

Bei Record in Diagramm 3 ist ein umgekehrter in schwächerem Maße annähernd linearer Zusammenhang mit sehr steiler positiver Steigung festzustellen, d.h. bei zunehmender Druckfestigkeit verringert sich ebenso wie bei NPU die Kugeldruckhärte.

Duroc in Diagramm 4 zeigt eine annähernd lineare Abhängigkeit mit flacher negativer Steigung.

Bei Moldano in Diagramm 5 besteht eine zu große Wertestreueung, die keine Abhängigkeit erkennen läßt.

Begodur in Diagramm 6 zeigt eine annähernde Konstanz der Kugeldruckhärtewerte bei zunehmender Druckfestigkeit.

Velmixstone in Diagramm 7 besitzt ebenso wie Moldabaster und auch Duroc die annähernd engste lineare Abhängigkeit mit negativer Steigung.

Da Velmixstone und Begodur in etwa den gleichen Wertebereich einnehmen, sind sie noch einmal vergleichend in Diagramm 8 aufgeführt worden.

2. Folgerungen für die Versuchsbedingungen

Was die Versuchsbedingungen anbetrifft, so sind eventuell folgende Empfehlungen zu berücksichtigen.

Die bei der Versuchsdurchführung und beim Anmischen herrschende Temperatur von ca. 23 °C und relative Luftfeuchtigkeit von ca. 50 % sind in allen erwähnten Entwürfen vorgeschrieben. Diese Werte kommen dem Raumklima sehr nahe.

Als Apparatur zur Bestimmung der Kugeldruckhärte hat sich der Kugeldruckhärteprüfer 'Z 426' der Firma Zwick & Co., Einsingen, bewährt. Es sollte nach einer Belastungszeit von 15 sec unter Vorlast von einem Kp abgelesen werden. Die vom FACINORMENAUSSCHUSS DENTAL (10) vorgeschlagenen 20 Kp Hauptlast halte ich nicht für angebracht. Es hat sich während der Messung gezeigt, daß bei den Hartgipsen - selbst bei einer Verkleinerung des Kugeldurchmessers auf 5 mm - entgegen den empfohlenen 10 mm mit einer Hauptlast von 20 Kp keine ausreichenden Eindringtiefen von $d = 0,2 - 0,7 D$ nach DIN 50351 zu erzielen waren. Somit ist eine Hauptlast von 50 Kp und ein Kugeldurchmesser von 5 mm bei den Hartgipsen unerlässlich.

Bei den Modellgipsen muß man entweder die Hauptlast von 50 Kp auf 20 Kp reduzieren oder den Kugeldurchmesser auf 10 mm erweitern, um innerhalb der vergleichbaren Eindruckgrenzen der DIN 50351 zu bleiben. Leider ist somit ein direkter Vergleich der Hart- und Modellgipswerte erschwert.

Da es in der Praxis jedoch wegen ihrer verschiedenen Verwendungszwecke nicht darauf ankommt, vergleichbare Werte zwischen den Hart- und Modellgipsen zu erzielen, genügt es, innerhalb der beiden Einzelgruppen gleiche Bedingungen zu schaffen.

Zur besseren Kenntlichmachung der Prüfvoraussetzungen wird hinter dem absoluten Wert die Hauptlast, und nach einem Schrägstrich der Kugeldurchmesser ähnlich der DIN 50351 beschrieben.

In bezug auf die Druckfestigkeitsapparatur ist eine Presse zu wählen, die den Druck schnell (in einer Sekunde und um 200 - 300 Kp zunehmend) aufbringt. Dies kommt den Erfordernissen der Praxis am nächsten, wenn z.B. ein alleinstehender Zahn beim Abziehen des Abdrucks vom Gipsmodell den Kräften ebenso kurzfristig standhalten muß.

Als Anrührmethode hat sich während meiner Versuche das 20 Sekunden-dauernde Spateln von Hand und anschließend das 30 Sekunden-lange Anrühren unter Vakuum bewährt.

Als Zeitpunkt der Prüfung empfehle ich den Praxisbedürfnissen entsprechend eine halbe Stunde und 24 Stunden nach Beginn des Anmischens.

Die von mir verwendeten Prüfkörperschablonen mit den Maßen 40 mm hoch und 20 mm Durchmesser haben den Vorteil der einfachen Herstellung und des problemlosen Entfernens des Gipskörpers aus der Form.

Auf der anderen Seite hat sich herausgestellt, daß der Oberflächendurchmesser bei der Kugeldruckhärteprüfung für die fünf Eindrücke im Verhältnis zur Eindringtiefe nur bedingt ausreichend war, da die Gefahr des Kantenbruchs bestand.

Bei der Druckfestigkeit wird durch eine größere Auflagefläche das Auftreten von Scherkräften beim Aufsetzen des Stempels verhindert. Durch die Kraftverteilung auf mehr Flächeneinheiten wird zudem die Gefahr der ungleichen

Lasteinwirkung bzw. großen Wertestreuung verringert. Die Prüfkörpermaße des Fachnormenausschusses Dental (16 cm x 4 cm x 4 cm), die für die Kugeldruckhärteprüfung und Druckfestigkeitsbestimmung verwendet werden, kommen diesen Vorstellungen sehr nahe.

Zur Lagerung der Prüfkörper empfehle ich - abgesehen von der Temperatur von ca. 23 °C - abweichend vom Vorschlag des FACHNORMENAUSSCHUSSES eine relative Luftfeuchtigkeit von 100 %, da eine Austrocknung des Gipses bei einer Lagerung unter Raumklimabedingungen, zumal wenn diese Werte nicht konstant gehalten werden können, die Folge sein würde.

Varianzanalysentabelle (Kugeldruckharte)

Tabelle 15

MODELLGIPSE

Gips- sorten	Varianz (S ₂)	Standard- abweichung = S	SAQ a) zwischen b) innerhalb c) Total=a+b	PG	MAQ a) zwischen b) innerhalb	F-Wert	F (1%)	Unterschied x) auffällig (p=0,05) xx) signifikant (p=0,01)
1	11435	106	a) 28851350	2	a) 14425675	108	6	xx
2	18917	137	b) 1600052	12	b) 133337			
3	369660	607	c) 30451403	14				

1 = NPU, 2 = MOLDABASTER, 3 = RECORD

Varianzanalysetabelle (Kugeldruckhärte)

Tabelle 16

HARTGIPSE

Gruppen	Varianz (σ^2)	Standard- abweichung = σ	$\sum x^2$ a) zwischen b) innerhalb c) Total=a+b	F _q	$M_{1/2}$ a) zwischen b) innerhalb	F-Wert	F (1%)	Unterschied x) auffällig (p=0,05) xx) signifikant (p=0,01)
1	2021	44	a) 28070625	3	a) 9356875	1026	5	xx
2	30416	174	b) 145790	16	b) 9111			
3	630	25	c) 28216416	19				
4	3372	58						

1 = DIKOC, 2 = MOLDANO, 3 = BEGODUR, 4 = VELMIXSTONE

Tabelle 17

Varianzanalysentabelle (Druckfestigkeit)

MODELLGIPSE

Gips- sorten	Varianz (S^2)	Standard- abweichung = S	SAQ a) zwischen b) innerhalb c) Total=a+b	FG	MAQ a) zwischen b) innerhalb	F-Wert	F (1%)	Unterschied x) auffällig ($p=0,05$) xx) signifikant ($p=0,01$)
1	680	26	a) 36693	2	a) 18346	)	6	xx
2	520	22	b) 3080	12	b) 523			
3	70	8	c) 41773	14				

1 = NFU, 2 = MOLDABASTER, 3 = RECORD

Varianzanalysetabelle (Druckfestigkeit)

Tabelle 18

HAFTGIPSE

Gips- sor- ten	Varianz (S ²)	Standard- abweichung = S	SAQ a) zwischen b) innerhalb c) total=a+b	FG	MAQ a) zwischen b) innerhalb	F-Wert	F (1%)	Unterschied x) auffällig (p=0,05) xx) signifikant (p=0,01)
1	5120	71	a) 225240	3	a) 75080	12	5	xx
2	2260	47	b) 95840	16	b) 5990			
3	12680	112	c) 321080	19				
4	3880	62						

1 = DUROC, 2 = MOLDANO, 3 = BEGODUR, 4 = VELMIXSTONE

Tabelle 19

Vergleichsmatrix der Mittelwertkontraste
für Kugeldruckhärte (in 0,01 mm Eindringtiefe)

Konfidenzgrenzen +++ p = 0,01 (signifikanter Unterschied)
 ... p = 0,05 (auffälliger Unterschied)
 --- (kein signifikanter Unterschied)

1 = NPU

2 = MOLDABASTER

3 = RECORD

	2	1
3	3 - 2 = 23,916 +++	3 - 1 = 32,852 +++
2		2 - 1 = 8,936 +++

1 = DUROC

2 = MOLDANO

3 = BEGODUR

4 = VELMIX-STONE

	1	3	4
2	2 - 1 = 24,036 +++	2 - 3 = 27,98 +++	2 - 4 = 29,04 +++
1		1 - 3 = 3,944 +++	1 - 4 = 5,004 +++
3			3 - 4 = 1,060 ---

Tabelle 20

Vergleichsmatrix der Mittelwertkontraste
für Druckfestigkeit (in Kp)

Konfidenzgrenzen: $+++ p = 0,01$ (signifikanter Unterschied)
 $ooo p = 0,05$ (auffälliger Unterschied)
 --- (kein signifikanter Unterschied)

1 = NPU
 2 = MOLDAHASTER
 3 = RECORD

	2	3
1	1 - 2 = 16 ---	1 - 3 = 112 +++
2		2 - 3 = 96 +++

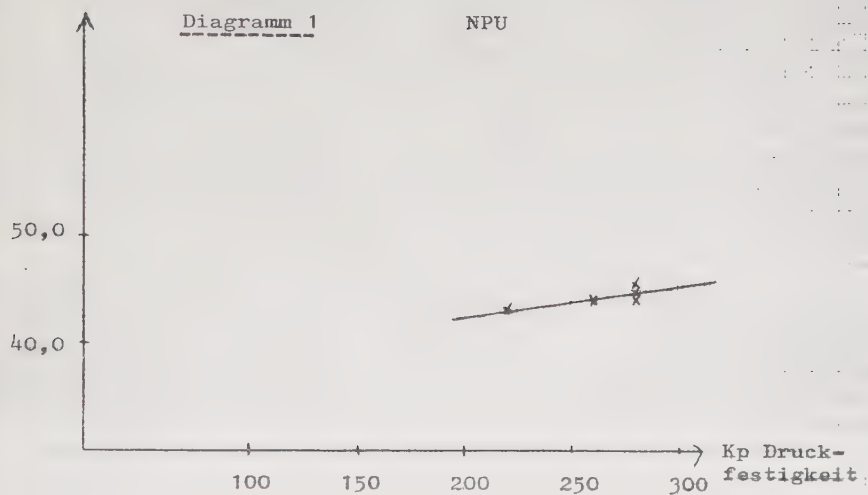
1 = DUROC
 2 = MOLDANO
 3 = BEGODUR
 4 = VELMIX-STONE

	3	1	2
4	4 - 3 = 52,0 ---	4 - 1 = 134,0 ---	4 - 2 = 282,0 +++
3		3 - 1 = 82,0 ---	3 - 2 = 230,0 +++
1			1 - 2 = 148,0 ooo

0,01 mm Eindringtiefe

Diagramm 1

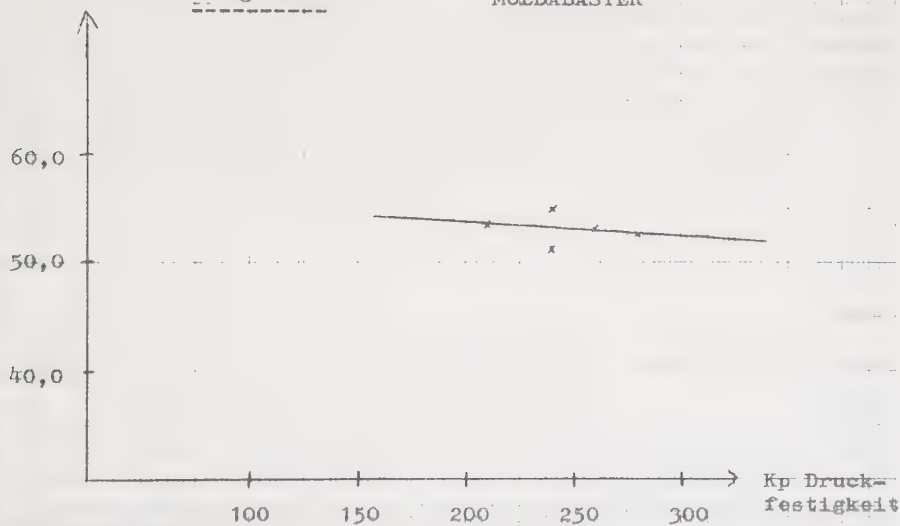
NPU



0,01 mm Eindringtiefe

Diagramm 2

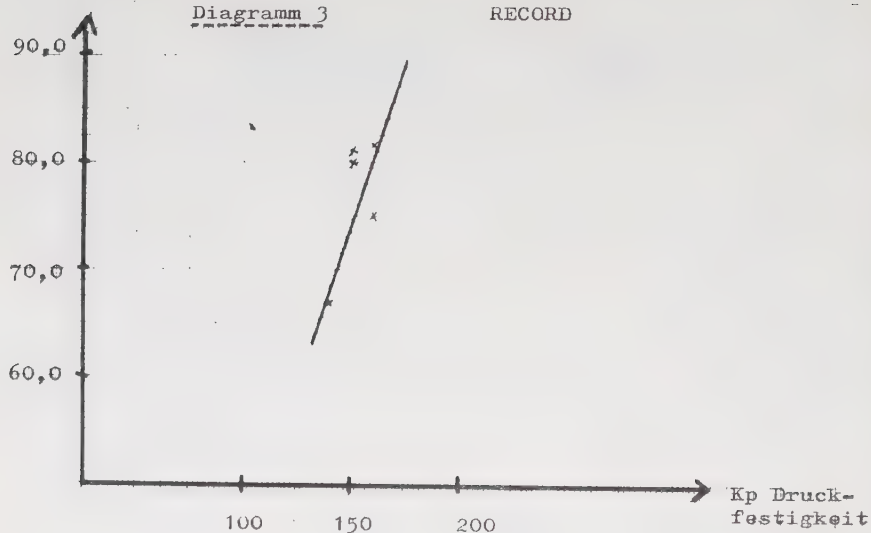
MOLDAKASTER



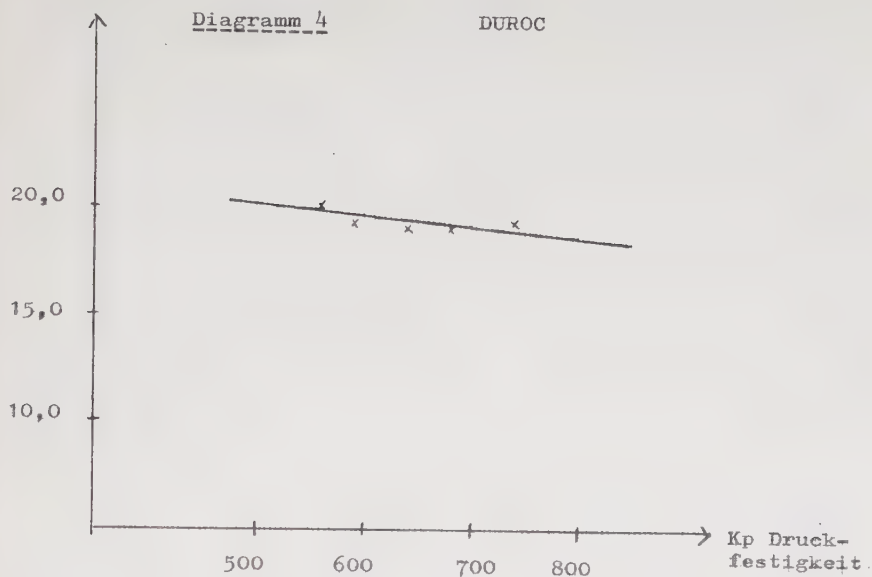
0,01 mm Eindringtiefe

Diagramm 3

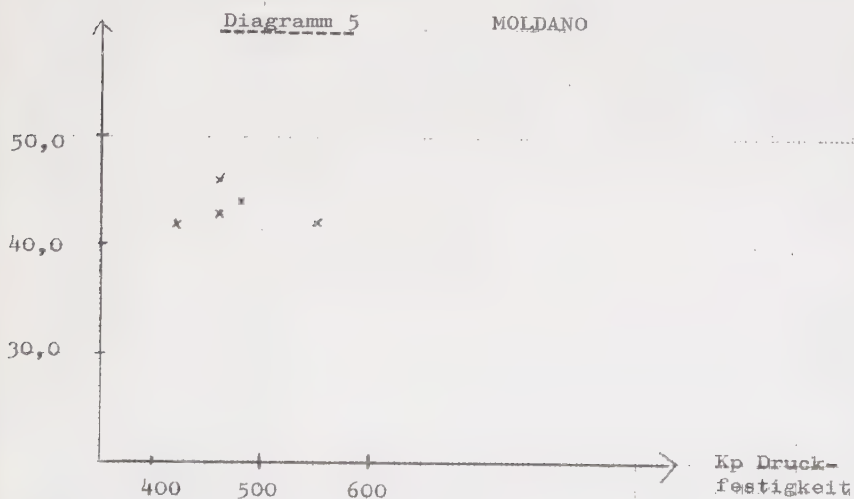
RECORD



0,01 mm Eindringtiefe



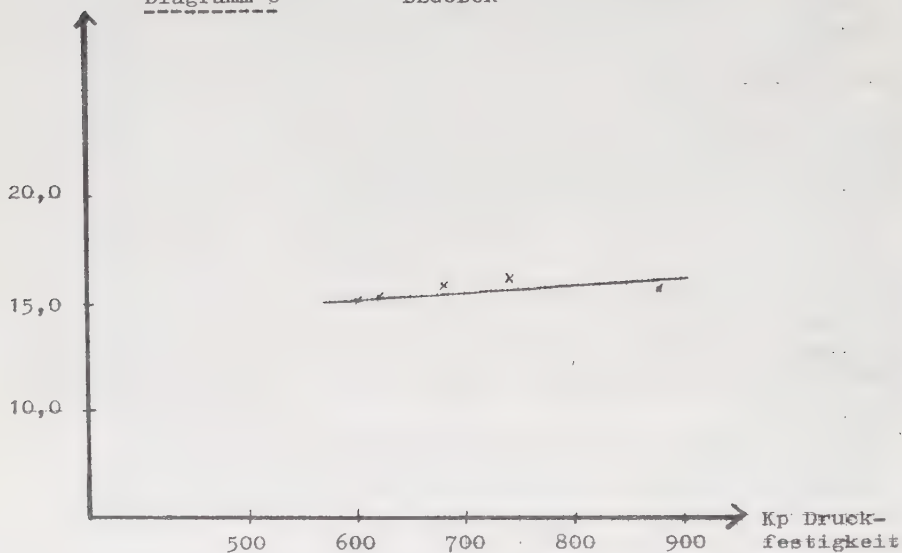
0,01 mm Eindringtiefe



0,01 mm Eindringtiefe

Diagramm 6

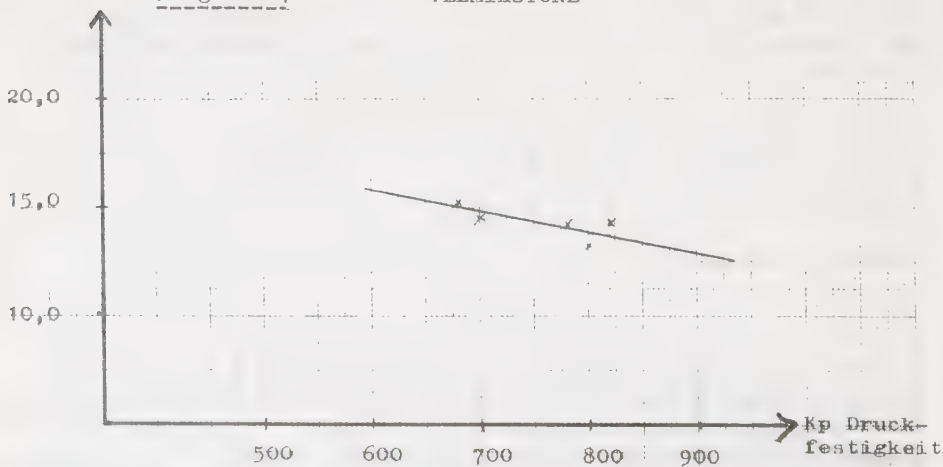
BEGODUR



0,01 mm Eindringtiefe

Diagramm 7

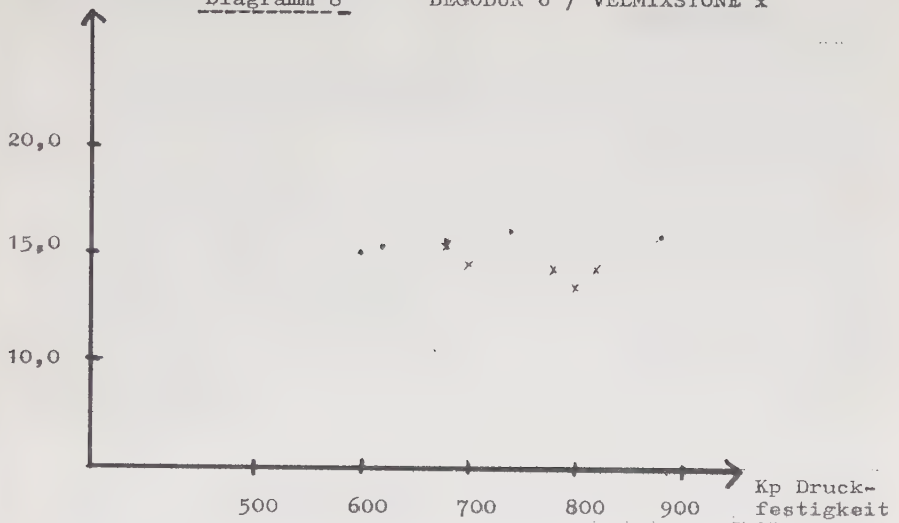
VELMIXSTONE



0,01 mm Eindringtiefe

Diagramm 8

BEGODUR o / VELMIXSTONE x



VII. ZUSAMMENFASSUNG

Bei drei Modellgipsen (NPU, Moldabaster, Record) und vier Hartgipsen (Duroc, Moldano, Begodur, Velmixstone) wurden Kugeldruckhärteprüfungen nach Brinell und Druckfestigkeitsmessungen durchgeführt.

Unter den Modellgipsen zeichnete sich NPU in bezug auf Kugeldruckhärte und Druckfestigkeit als widerstandsfähigster Gips aus. Etwas geringere Werte wiesen Moldabaster und wesentlich schlechtere Werte Record bei den Kugeldruckhärte- und Druckfestigkeitsmessungen auf.

Einen annähernd linearen Zusammenhang zwischen steigender Druckfestigkeit und zunehmender Kugeldruckhärte zeigte unter den Modellgipsen nur Moldabaster. NPU und Record wiesen bei zunehmender Druckfestigkeit sogar eine verminderte Kugeldruckhärte auf.

Unter den Hartgipsen zeichnete sich Velmixstone sowohl bei der Kugeldruckhärteprüfung als auch bei der Druckfestigkeitsmessung als härtester Gips aus. Fast gleichauf lagen für beide Prüfungen die Werte von Begodur, der außerdem noch eine Konstanz der Kugeldruckhärtewerte bei steigenden Druckfestigkeitswerten aufwies. Mit größerem Abstand folgte Duroc. Als schlechtesten Hartgips stellte sich Moldano heraus. Er wies bezüglich der Kugeldruckhärte ungefähr dreimal und in bezug auf die Druckfestigkeit fast zweimal so schlechte Werte wie Velmixstone auf.

Einen annähernd linearen Zusammenhang zwischen steigender Druckfestigkeit und zunehmender Kugeldruckhärte zeigten unter den Hartgipsen Velmixstone und Duroc. Bei Begodur war nur eine Konstanz der Kugeldruckhärte bei steigender Druckfestigkeit festzustellen. Bei Moldano war keine Abhängigkeit ersichtlich.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, daß die Zusammenhänge zwischen Kugeldruckhärte und Druckfestigkeit sehr unterschiedlich oder z.T. überhaupt nicht vorhanden waren.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

- 1 American Dental Association
Vorschlag einer ADA-Spezifikation für Materialien aus
Gips (1969)
- 2 American Dental Association
Specification No. 2 a for Casting Investment for
Dental Gold Alloy
Second Edition, Chicago 1964
- 3 Bedienungsanleitung zum Kugeldruckhärteprüfer
'Z 426' der Fa. Zwick & Co.
- 4 British Standards Institution
Draft British Standard Specification for Dental
Laboratory Plaster
(1970)
- 5 Deutsche Normen
DIN 1168, Blatt 1 und 2
- 6 DIN 1164, Blatt 7
- 7 DIN 50351
- 8 DIN 53456
- 9 El Tannit und Imam
Effect of Soaking on the Physical Properties of Plaster
I.dent.Res. 48, 423 (1969)
- 10 Fachnormenausschuß Dental im Deutschen Normenausschuß
(DNA)
Zahnärztliche Werkstoffe Gips-Plaster
Anforderungen Prüfung
(1972)

- 11 Gerlach, H.P.
Die Beeinflussung des Thermischen Volumenverhaltens
von Gips-Quarzgemischen im zahnärztlichen Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 36, 467 (1933)
- 12 Hennike, A.
Grundsätze bei der Untersuchung zahnärztlicher Werk-
stoffe vom Gesichtspunkt der Werkstoffforschung und
der Alltagspraxis aus
Unter der Berücksichtigung des Dimensionsverhaltens
der Abform- und Modellmassen
Zahnärztl. Rdsch. 10, 289 (1960)
- 13 Hofmann, M.
Die Abformung des Kronenstumpfes und das Arbeitsmodell
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1288 (1967)
- 14 Jørgenson, K.D. und A. Kono
Relationen mellem porø sitet og brudstyrke hos dental
hardgips
Tandlaegebladet 75, 113 (1971)
- 15 Lenz, E.
Prüfung der Modellherstellung für festsitzenden Zahn-
ersatz
Dtsch. Stomat. 19, 90 (1969)
- 16 Linder, A.
Planen und Auswerten von Versuchen
Stuttgart-Basel 1969
- 17 Plischka, G.
Qualitätsuntersuchungen einiger Gipssorten und deren
Eignung und Verarbeitung mit einem Vibrator
Dtsch. Zahnärztebl. 10, 43 (1956)

- 18 Rehberg, H.J.
Untersuchungen über die Härte des Gipses, insbesondere
nach Hitzeeinwirkung
Zahnärztl. Rdsch. 59, 364 (1950)
- 19 Rehberg, H.J. und Becherer, G.
Die Bedingtheit der Härte des Gipses und ihre physika-
lische Deutung
Dtsch. zahnärzt. Z. 2, 488 (1954)
- 20 Ritze, H.
Modellwerkstoffe
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 889 (1966)
- 21 Sachs, L.
Statistische Methoden - Ein Soforthelfer
Heidelberg, 1970 (Springer-Verlag)
- 22 Salamon, D.
Experimentelle Untersuchungen über die Druckfestigkeit
und Kugeldruckhärte verschiedener Hart- und Spezial-
hartgipse
Med. Diss. Mainz 1971
- 23 Schalon, W. und Emerich, H.
Untersuchungen über Modellgipse mit besonderer Berück-
sichtigung des Moldanos
Zahnärztl. Rdsch. 31, 1353 (1933)
- 24 Schubert, L.
Über Modellgipse
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 34, 1356 (1931)
- 25 Schwindling, R. und Genieser, H.
Volumenverhalten, Härte und Bruchfestigkeit neuerer
zahnärztlicher Hartgipse
Dtsch. Zahn-Mund- u. Kieferheilk. 37, 317 (1962)

- 26 Sokolowski, M.
C właściwości powierzchniowej gipsu i sposobach jej
usuwanis
Czas, stomat. Warszawa, 18, 823 (1965)
- 27 Weber, E.
Grundriß der Biologischen Statistik
Anwendungen der mathematischen Statistik in Natur-
wissenschaft und Technik (Scheffé-Test, S. 260 - 261)
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1967
- 28 Weikart, P.
Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche
Werkstoffe
Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 1550 (1949)
- 29 Weikart, P.
Beitrag zur Kenntnis der physikalisch-chemischen
Eigenschaften des Gipses
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 41, 693 (1938)

Lebenslauf

Am 14. Juni 1947 wurde ich als Sohn des kaufmännischen Angestellten Kurt Billeb und seiner Ehefrau Hildegard, geb. Kleiber, in Münchenbernsdorf, Kreis Gera/Thüringen, geboren.

1953 trat ich in die Volksschule ein und besuchte diese bis zu meinem Übertritt in das Lessing-Gymnasium, Bochum-Langendreer, im Jahre 1957.

Nach bestandener Reifeprüfung im Februar 1966 leistete ich für ein Jahr meine Wehrpflicht bei der Bundeswehr ab.

Im Wintersemester 1967/68 immatrikulierte ich mich an der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz. Nach fünf Semestern legte ich das Physikum und nach weiteren fünf Semestern auch das zahnärztliche Staatsexamen im Wintersemester 1972/73 ab.

Seit dem 1. 4. 1973 bin ich als Assistent in einer Praxis in Dortmund tätig.

Meinen herzlichsten Dank möchte ich Herrn Professor Dr. Marx für die Überlassung des Themas sowie für die vielen guten Ratschläge aussprechen.

Herzlichen Dank möchte ich auch Herrn Professor Dr. Fuhr für die Übernahme des Korreferates sagen.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Dr. Scheidt für die Beratung bei der statistischen Auswertung.

